

## CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS DEL VALLE DEL COLCA, ENTRE CHIVAY Y MACA

Fluquer Peña<sup>1</sup>, Shianny Vásquez<sup>1</sup>, Josemanuel Carpio<sup>1</sup>, Jose Carlos Farfan & <sup>1</sup>Percy Sulca<sup>1</sup>

(1) INGEMMET, Av. Canadá 1470 San Borja, [fpena@ingemmet.gob.pe](mailto:fpena@ingemmet.gob.pe); [svasquez@ingemmet.gob.pe](mailto:svasquez@ingemmet.gob.pe),

### INTRODUCCION

El valle de Colca se ubica al sur de Perú, en la Región Arequipa y Provincia de Caylloma, comprende las coordenadas 188000 y 231800 Este y 8284000 y 8256000 Norte. Con altitudes entre 3200 msnm (Río Colca) y 6025 msnm (Nevado Hualca Hualca), cubriendo un área de 1 226 km<sup>2</sup>.

Con frecuencia, el régimen de las aguas subterráneas juega un papel importante, para la subsistencia de la flora y fauna natural, siendo fuente esencial para el desarrollo de la agricultura y el turismo, principales actividades económicas del valle del Colca. Desde Tuti a Pinchollo se observa un paisaje espectacular, que conforma uno de los entornos ecológicos y paisajísticos de mayor importancia, donde el agua subterránea tiene presencia importante en la configuración y modelado del paisaje. A pesar de su importancia, los procesos que posibilitan la existencia de las aguas subterráneas y superficiales del valle son poco conocidos. Los materiales de difusión dirigido a usuarios y visitantes, no tienen ilustraciones sobre el ambiente de formación de las aguas termales, estructura de surgencia, composición química de las fuentes minero medicinales, las extrañas morfologías que presentan las rocas y suelos en lugares como Chivay, Maca, Yanque, Lari o simplemente que trate de descubrir la belleza del cañón del Colca, son poco conocidos.

De acuerdo a la importancia que ha adquirido el valle desde el punto de vista turístico, el presente artículo tiene como objetivo principal determinar las características hidrogeológicas e interpretar el comportamiento del recurso hídrico subterráneo del valle del Colca, entre Chivay y Maca.

### GEOLOGÍA E HIDROGEOLOGIA DEL VALLE

Según la carta geológica actualizada de Chivay (Quispesivana & Navarro, 2001), las rocas más antiguas del valle corresponden a la Formación Labra que es parte del Grupo Yura, consta de areniscas en bancos delgados intercalados con lutitas del jurásico superior, limolitas rojas intercaladas con areniscas arcóscas del cretáceo inferior y pertenecientes a la Formación Murco. Estas dos formaciones afloran en la parte inferior del río Colca, muy cerca del poblado de Chivay y en el sector de Lari en ambos márgenes del río Colca. Presenta, plegamientos, fallas geológicas y fajas de deformación en las rocas, los cuales nos permiten clasificar a esta secuencia como materiales permeables con condiciones de ser acuíferos fisurados sedimentarios. Se observan también secuencias de ignimbritas, flujos de lava y volcanoclastos del oligoceno-mioceno, que pertenecen al Grupo Tacaza; los cuales muestran un contraste bien marcado en su comportamiento hidrogeológico, las ignimbritas son por lo general impermeables, los flujos de lava y volcanoclastos son acuíferos volcánicos de moderada productividad, de donde se tiene una serie de surgencias o manantiales con caudales variables (entre 2 y 80 l/s). El comportamiento hidrogeológico de los piroclastos es bastante variable, cuando la porosidad es alta puede llegar hasta los 50 % de porosidad (Custodio & Llamas, 1996), sin embargo en el valle del Colca, los depósitos de piroclastos presentan matriz muy fina con un buen porcentaje de cenizas volcánicas, caracterizando como material impermeable. Los flujos de lava recientes, productos del volcán Hualca Hualca tienen permeabilidad secundaria adquirida por el enfriamiento de las lavas durante su emplazamiento, estos favorecen la infiltración de aguas de lluvia y circulación a través de las fracturas por lo cual se caracteriza como acuíferos volcánicos. Los depósitos de avalanchas de escombros, atribuidos al colapso del flanco norte del volcán Hualca Hualca (Mariño et al, 2010), los depósitos aluviales, fluviales y los depósitos coluviales son porosos, no consolidados, tienen matriz limo arenosa de baja permeabilidad y son favorables para la formación de acuíferos.

### RECURSOS HÍDRICOS DEL SUBSUELO

Para evaluar las características hidrogeológicas del valle del Colca se han inventariado 64 fuentes de aguas subterráneas; de los cuales 10 son fuentes termales, 1 galería filtrante, 1 géiser, 46 manantiales y 6 puntos de control (Figura 1 y 2).

A lo largo del valle del Colca y próximas al cauce del río afloran 10 fuentes termales; de los cuales solo 6 se aprovechan en balneología e hidroterapia, 3 son muy poco conocidas y 1 geysir, que es escasamente visitado por turistas nacionales y extranjeros.

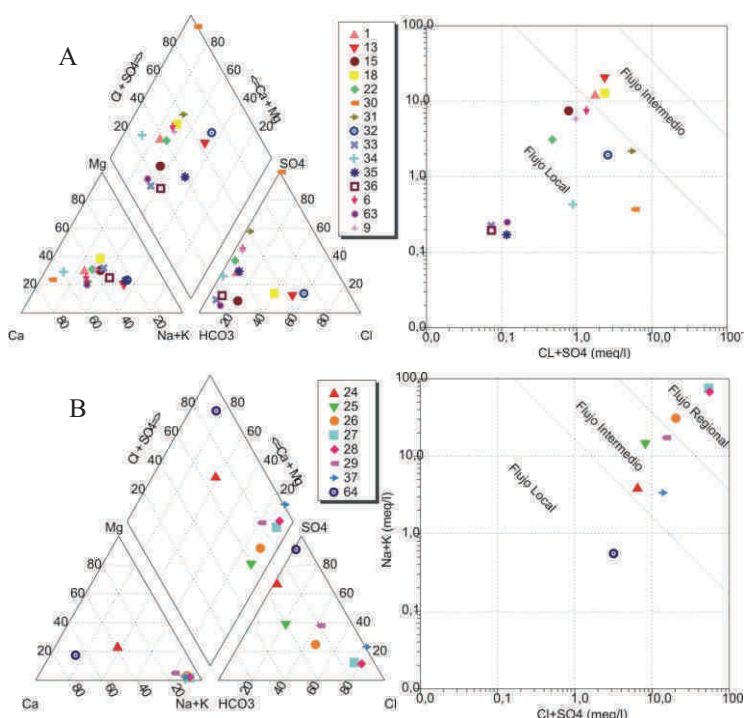
Un gran número de fuentes frías se utilizan en la agricultura y en consumo humano, la mayoría de estas se concentran en la localidad de Maca, influyendo en el comportamiento de un gran deslizamiento que pone en peligro al poblado de Maca y la carretera afirmada de Chivay a Cavanaugh.

## HIDROQUIMICA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Para el entendimiento de la procedencia, ambiente de formación y descarga de las aguas subterráneas, se han separado en dos partes, la primera corresponde a fuentes frías o menores de 20° C y la segunda son fuentes termales, mayores a 20 °C de temperatura (foto 1), ambas se representan en dos diagramas, Piper y Scatter (evolución hidroquímica de flujos).

Según los gráficos A y B, dentro del grupo de fuentes de aguas frías se observa dos predominancias, un primer subgrupo mayoritario de predominancia sulfatada cálcica, que tiene corto recorrido, flujos locales a intermedios y que provienen de la infiltración de aguas de lluvia en las lavas andesíticas y dacíticas recientes que condicionados por el contacto con depósitos aluviales afloran a superficie, el segundo subgrupo de predominancia bicarbonatada cálcica los cuales indican que tienen flujos locales a intermedios y que al momento de la circulación tuvo contacto con aguas superficiales.

El segundo grupo de fuentes termales tienen predominancia clorurada sódica, según el diagrama de Scatter estas fuentes tienen un largo recorrido, los flujos son regionales y profundos con excepción de las fuentes 24 y 64 y dos fuentes del tipo cálcica sulfatada que tiene flujos locales e intermedios (Gráfico B). En el presente artículo se interpreta que el origen del principal grupo de fuentes termales se debe a la influencia de una carga hidráulica producida a raíz de la infiltración de aguas meteóricas en la zona de lavas andesíticas fracturadas, cuya infiltración llega hasta el contacto con areniscas y lutitas del Grupo Yura, las cuales condicionan su descarga a través de fallas y fracturas (figura 1).



Gráficos 1. A) Diagrama Piper y Scatter para fuentes de aguas frías. B) Diagramas Piper y Scatter para fuentes termales.

## MODELO HIDROGEOLOGICO CONCEPTUAL

Para entender el comportamiento hidrogeológico de las aguas frías y termales, se ha elaborado tres secciones (figura 1). Las rocas volcánicas antiguas procedentes de un arco volcánico extinto, con lavas, piroclastos, tobas y otros elementos condicionados por factores como edad, distancia al centro de emisión, tectónica posterior, erosión e intemperización, etc., tienen una configuración hidrogeológica muy variable. Por lo tanto en el valle del Colca se realizó una caracterización netamente litológica y la relación entre ellos (materiales de contacto).

La sección hidrogeológica A-A' es transversal al valle y de dirección NE-SW. La zona de alimentación y recarga está compuesta por flujos de lava altamente fracturados, que permiten la infiltración de agua meteórica, posteriormente estos fluidos circulan por medio de las tobas en bloques y lavas andesíticas, condicionados por la dirección de estructuras y contactos litológicos. Las fisuras y fracturas de estos materiales no son homogéneas en todo el volumen de la roca, existe zonas donde están juntas reduciendo su capacidad de percolación y zonas con ausencia de fisuras, ha esta variabilidad de anomalías en la roca se le atribuye la gran cantidad de surgencias en el punto de contacto entre el acuífero volcánico fisurado y los depósitos aluviales poco permeables. Los cuales además son los principales causantes de la activación de los deslizamientos de Maca y Lari.

La sección hidrogeológica B-B' se ubica en el sector de Yanque, donde las aguas que circulan por medio del acuífero volcánico infiltran a profundidades superiores a 2500 metros adquiriendo alta temperatura (41°C). Estas aguas en profundidad entran en contacto con areniscas y lutitas del Grupo Yura (Figura 1) donde adquieren predominancia sulfatada sódica, sin descartar que también tengan contacto con calizas, lutitas y rocas relacionadas a fluidos hidrotermales. Los niveles de descarga del piso impermeable lo forman los acuitardos sedimentarios cuya surgencia se produce por medio de una falla inferida de dirección este oeste. Esta fuente aflora en la margen derecha del río Colca a 17 m del cauce del río, desde donde se capta para el uso de los baños termales.

La sección hidrogeológica C-C' muestra el ambiente de formación de la fuente termal La Calera (principal abastecedor de aguas minerales y termales del balneario de Chivay). En este punto se tiene un gran afloramiento de areniscas y lutitas de la Formación Labra, areniscas arcóscicas y limolitas de la Formación Murco; ambas consideradas en este artículo como acuíferos fisurados sedimentarios. El lugar de afloramiento de la fuente termal, muestra que su dinámica de flujo está controlada por una falla inversa de dirección noroeste sureste (figura 1 y 2), emplazada transversalmente al valle del Colca. En este sector las condiciones litológicas, geomorfológicas, tectónicas y estructurales de los acuíferos volcánicos y sedimentarios, han desarrollado fracturas solamente en ciertos niveles, por lo tanto las surgencias de esta fuente son puntuales. La zona de recarga se produce en margen derecha en lavas andesíticas que reciben aguas de la lluvia a través de sus fallas y fracturas, la que permite la infiltración profunda mayor a 3000 m donde adquiere alta temperatura (67.20 °C). El sistema acuífero que alberga esta surgencia es discontinuo, heterogéneo, la recarga se produce mediante rocas volcánicas, con circulación profunda y el ambiente de formación son de rocas sedimentarias, los cuales reflejan su predominancia sódica clorurada. El contenido mayoritario en sodio procede de la meteorización de silicatos y la disolución de rocas sedimentarias, por lo cual el olor azufre es típico en esta fuente. No se descarta esta fuente tenga contacto con fluidos hidrotermales.

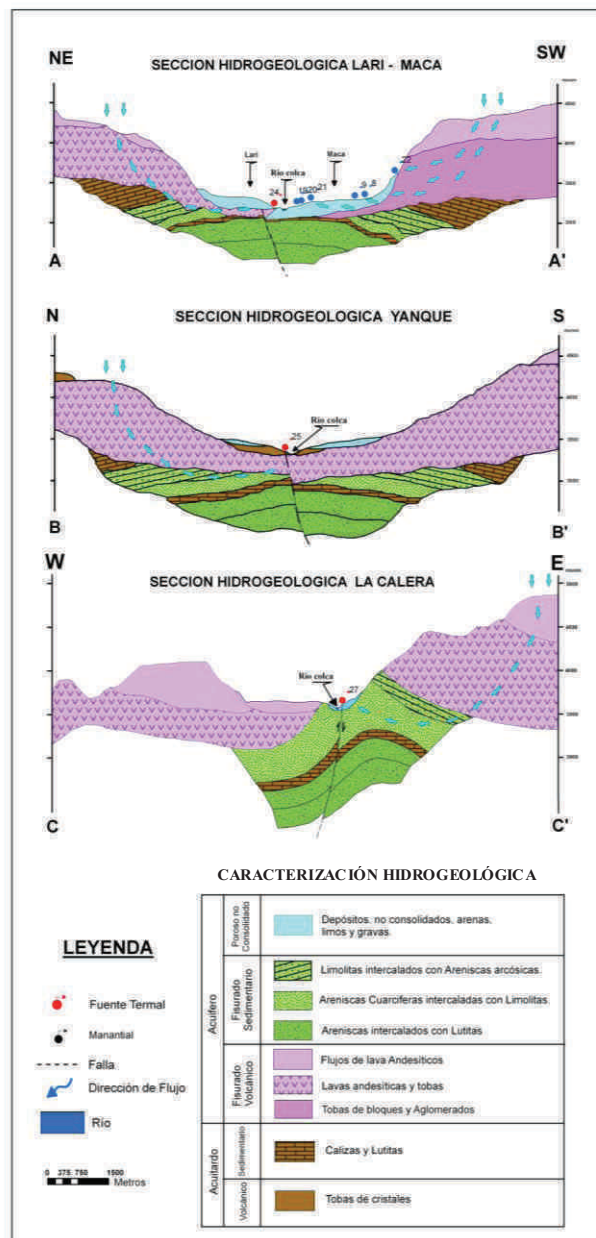


Figura 1. Secciones hidrogeológicas transversales al valle del Colca.

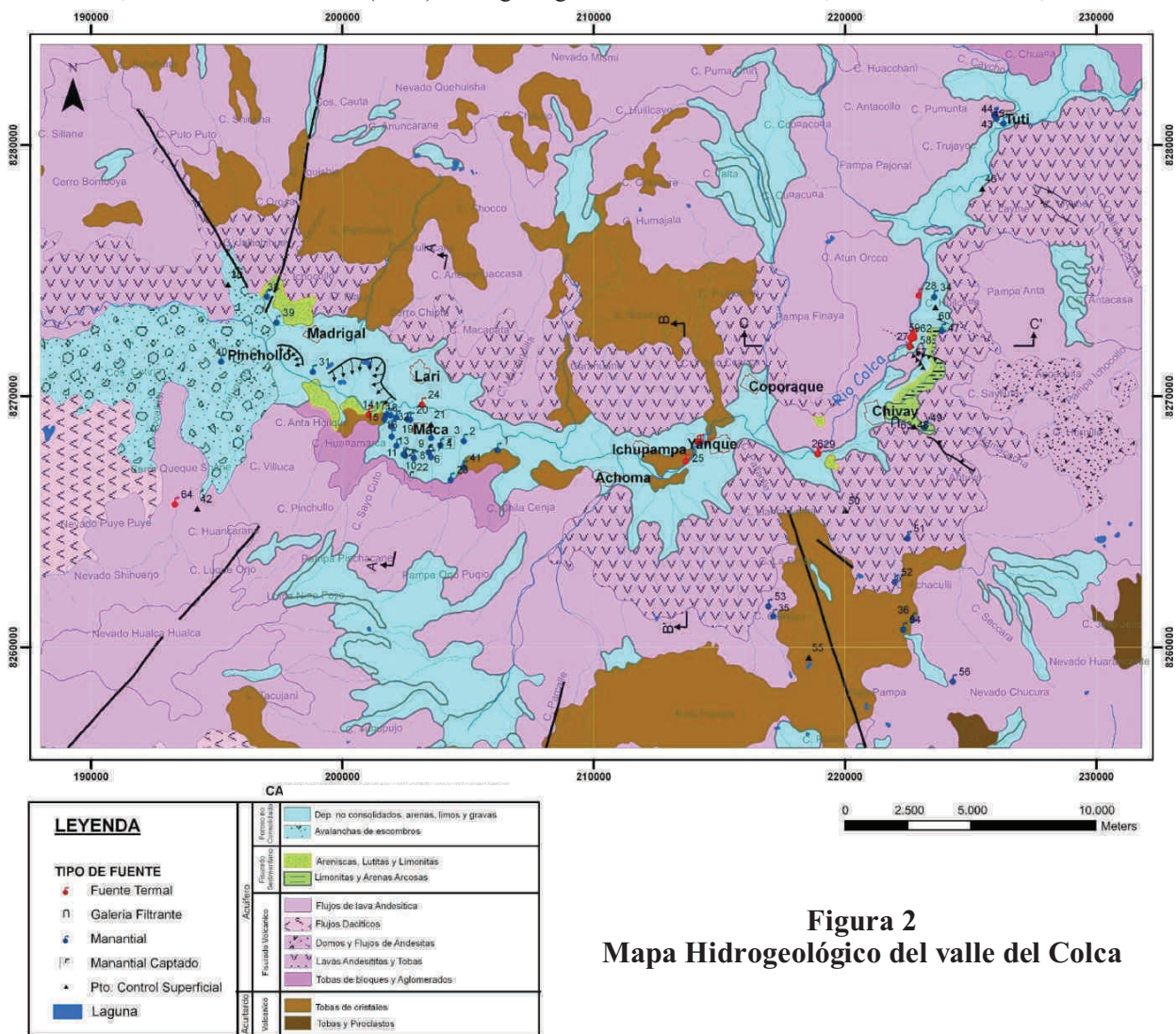


## CONCLUSIONES

- En el valle del Colca se tienen 64 fuentes de aguas subterráneas; de los cuales 10 son fuentes termales, 1 galería filtrante, 1 géiser, 46 manantiales y 6 puntos de control. Las fuentes termales se aprovechan en baños termales, la galería filtrante abastece de agua potable al poblado de Chivay, las aguas frías son para uso agrícola y consumo humano.
- Las rocas acuíferas del valle del Colca son lavas andesíticas y tobas en bloques consideradas como acuíferos volcánicos, las areniscas arcósicas y areniscas son acuíferos fisurados sedimentarios y se tiene acuíferos porosos en depósitos aluviales y flujos de escombros.
- Las fuentes termales se interpreta que se originan por circulación profunda de aguas en los acuíferos que se calientan con el grado geotérmico de la tierra, pero no se descarta que las fuentes termales la Calera y Yanque tengan influencia hidrotermal, por su contenido clorurada sódica, sus flujos son regionales con circulación profunda.

## BIBLIOGRAFIA

- Quispesivana & Navarro (2001) Mapa geológico del cuadrángulo de Chivay -Lima, Perú. INGEMMET.
- Ángeles, S.; Rosales L. & Ramos J. (2004) – Características de flujos regionales, y su manifestación, tres casos en México, Instituto de Geografía.
- Custodio, E. & Llamas, M. (1996) - Hidrología subterránea. 2a. ed. Barcelona: Omega, 2 t.
- Mariño, J. et. al (2010) Investigaciones geológicas y gestión de riesgos en el valle del Colca, Arequipa
- Peña F., Sanchez M. & Pari W. (2009) Hidrogeología de la cuenca del río Ica, INGEMMET. Bol 3, H.



**Figura 2**  
**Mapa Hidrogeológico del valle del Colca**